



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 199 19 143 A 1**

⑤ Int. Cl.⁶:
G 02 B 26/00
G 02 B 26/02
G 02 B 26/10

⑦1 Aktenzeichen: 199 19 143.3
⑦2 Anmeldetag: 27. 4. 99
④3 Offenlegungstag: 2. 12. 99

DE 199 19 143 A 1

③0 Unionspriorität:
09/072,783 04. 05. 98 US

⑦1 Anmelder:
Creo Products Inc., Burnaby, British Columbia, CA

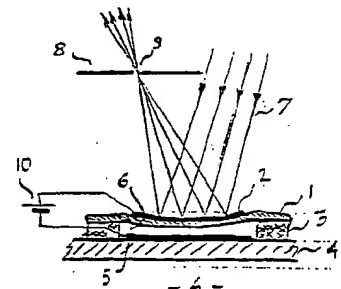
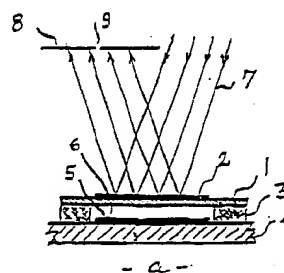
⑦4 Vertreter:
Müller-Boré & Partner, Patentanwälte, European
Patent Attorneys, 81671 München

⑦2 Erfinder:
Gelbart, Daniel, Burnaby, B.C., CA

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 Hochgeschwindigkeits-Lichtventil bzw. -Lichtsteuergerät mit deformierbarem Spiegel

⑤7 Ein Lichtventil bzw. Lichtsteuergerät mit deformierbarem Spiegel umfaßt ein Feld von Siliziumnitridstreifen bzw. -bändern (1), welche für eine Reflexion von Licht metallisiert sind. Jedes Band (1) wird elektrostatisch zur Ausbildung eines zylindrischen Spiegels deformiert. Jedes deformierte Band (1) moduliert das Licht in einem Pixel bzw. Bildelement durch Fokussieren des reflektierten Lichts durch einen Schlitz (9). Eine alternative Ausführungsform fokussiert das Licht auf eine Blende (8). Die Bandstruktur (1) weist eine schnelle Ansprechzeit, kombiniert mit einem hohen Kontrast auf.



DE 199 19 143 A 1

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf eine Modulation von Lichtstrahlen und insbesondere auf eine Modulation von Licht unter Verwendung von Lichtventilen bzw. Lichtsteuergeräten, basierend auf deformierbaren Spiegeln.

Lichtventile bzw. Lichtmodulatoren werden verwendet, wenn eine große Anzahl von Lichtspots bzw. Leuchtpunkten individuell moduliert bzw. gesteuert werden sollen. Lichtventile bzw. Lichtsteuerrelais mit deformierbarem Spiegel gemäß dem Stand der Technik können allgemein in drei Arten unterteilt werden:

- a. Vorragende bzw. einseitig eingespannte oder gelenkige Spiegelarten, welche Licht ablenken, wenn sie gebogen oder gekippt bzw. verschwenkt werden. Das am besten bekannte Beispiel in dieser Kategorie ist die durch Texas Instruments entwickelte DMD-Technologie.
- b. Membran-Lichtventile, wo eine flache Membran in einen sphärischen bzw. Kugelspiegel zur Fokussierung des Lichts deformiert wird.
- c. Gitter- bzw. Raster-Lichtventile, welche das Licht unter Ausbildung eines periodischen Musters beugen bzw. ablenken. Das am besten bekannte Beispiel in dieser Kategorie ist das Gitter-Lichtventil ("Grating Light Valve"), welches durch Silicon Light Machines (Sunnyvale, Cal.) entwickelt wurde. Diese Art wird in früherer Literatur auch als "zyklische Aufnahmesysteme" bezeichnet.

Der größte Nachteil der ersten Art ist eine langsame Ansprech- bzw. Antwortzeit, typischerweise in der Größenordnung von 10 μ s. Dies basiert auf der niedrigen natürlichen Frequenz einer einseitigen bzw. freitragenden Einspannung und der erforderlichen, großen Ablenkung bzw. Auslenkung. Der größte Nachteil der zweiten Art ist die Schwierigkeit bei der Herstellung, da die Membran über ihren gesamten Umfang abgestützt bzw. gelagert werden muß, wodurch es schwierig wird, die Ausnehmung bzw. den Hohlraum unter ihr durch eine Mikro-Materialbearbeitung zu erzeugen. Eine Mikro-Materialbearbeitung ist das am meisten erwünschte Herstellungsverfahren für Lichtventile bzw. Lichtsteuerrelais mit deformierbaren Spiegeln, da sie Standardverfahren verwendet, welche für die Herstellung von integrierten Schaltungen entwickelt wurden. Die Schwierigkeit bei der Herstellung einer monolithischen bzw. Festkörpervorrichtung dieser Art liegt darin, daß sie ein mehrstufiges Verfahren erfordert, wo eine Mikro-Materialbearbeitung und ein Verbinden bzw. Festlegen einer Membran erforderlich sind. Ein Beispiel einer derartigen Membranvorrichtung ist im US-Patent Nr. 4.441.791 gezeigt. Diese Vorrichtung kann nicht als eine monolithische bzw. einstückige Vorrichtung (d. h. aus einem einzigen Siliziumstück) aufgrund der Membran gefertigt werden.

Der größte Nachteil der dritten Art ist eine geringe optische Effizienz bzw. Ausbeute. In einem Gitter- bzw. Raster-Lichtventil existieren zwei Arten, die Vorrichtung zu verwenden: den Strahl nullter Ordnung oder erster Ordnung. Für die Verwendung der nullten Ordnung ist das Kontrastverhältnis gering bzw. schlecht. Für die Verwendung der ersten Ordnung ist die optische Effizienz bzw. Ausbeute gering, da jeder Strahl erster Ordnung weniger als 50% der Energie beinhaltet. Dies kann durch ein Verfahren verbessert werden, welches als ein "Glühen" bzw. "Leuchten" bekannt ist, in welchem die Bänder bzw. Streifen in einem Gitter- bzw. Raster-Lichtventil gekippt werden oder indem die mehreren Bänder bzw. Streifen, welche einen Spot bilden,

verschwenkt bzw. abgelenkt werden, wobei eine zunehmend vergrößerte Ablenkung bzw. Auslenkung verwendet wird (d. h. die einen Spot- bzw. Lichtpunkt-bildenden Bänder bzw. Streifen bilden eine "Stufen- bzw. Stiegenform", wenn sie abgelenkt werden). Während dies einigen Lichtverlust wettmachen kann, erfordert dies dennoch eine Vielzahl von Bändern für jeden Lichtspot bzw. Lichtpunkt.

Es ist das Ziel der vorliegenden Erfindung, eine Vorrichtung mit der schnellen Ansprechzeit eines Gitter- bzw. Raster-Lichtventils, jedoch mit der Einfachheit und der einfachen Herstellung von einfacheren Vorrichtungen zur Verfügung zu stellen, welche nur ein bewegbares Element pro Spot bzw. Lichtpunkt aufweisen. Ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung ist die Herstellung eines Lichtventils bzw. Lichtsteuergeräts mit hohem Kontrast, hoher Effizienz bzw. Ausbeute und der Fähigkeit, eine hohe, einfallende Leistung handzuhaben. Während der Hauptverwendungszweck der Erfindung ein lineares Lichtventil ist, kann auch ein zweidimensionales Feld unter Verwendung der Erfindung hergestellt werden.

Zur Lösung dieser Aufgaben wird ein Lichtventil bzw. Lichtsteuergerät zur Verfügung gestellt, welches in Anspruch 1 definiert ist. Bevorzugte Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Hochgeschwindigkeits-Lichtventils bzw. -Lichtsteuergeräts sind in den abhängigen Ansprüchen definiert.

Es wird bevorzugt ein Feld bzw. eine Anordnung von Siliziumnitrid-Bändern bzw. -Streifen verwendet, welche auf der Oberseite eines Siliziumsubstrats unter Verwendung bekannter Technologie zur Herstellung von integrierten Schaltungen mikrobearbeitet werden. Die Streifen bzw. Bänder können unter einer elektrostatischen Kraft verformt bzw. abgelenkt werden, um einen zylindrischen Reflektor zu bilden. Eine dünne, metallische Beschichtung, typischerweise Aluminium, wird auf der Oberseite der Streifen für eine erhöhte Reflektivität abgeschieden. Da die geforderte Ablenkung bzw. Auslenkung des Streifens, um einen wirksamen, zylindrischen Spiegel auszubilden, sehr gering ist, ist die Ansprechzeit schnell bzw. kurz und die für die Deformierung bzw. Ablenkung der Streifen erforderliche Spannung ist gering. Die hohen Elastizitätsmodule von Siliziumnitrid, kombiniert mit einem sehr geringen thermischen Expansionskoeffizienten, erlauben, daß die Vorrichtung sehr hohen, einfallenden Leistungen widersteht, wie sie bei Darstellungen mittels Thermografie und Laserprojektion angetroffen werden. Das Lichtventil kann im "Hellfeld-" oder "Dunkelfeld-" (Schlieren-)Modus verwendet werden. In Summe verwendet die Erfindung die Herstellungsverfahren, welche für Gitter- bzw. Raster-Lichtventile bzw. Lichtsteuergeräte entwickelt wurden, um ein Lichtventil mit deformierbarem Spiegel zu bilden, wobei die Herstellungs- und Geschwindigkeitsvorteile der ersteren mit der Einfachheit der letzteren kombiniert werden.

Weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung werden aus der nachfolgenden Beschreibung unter Bezugnahme auf die Zeichnung schematisch dargestellten Ausführungsbeispiele ersichtlich werden, in welchen:

Fig. 1a einen Querschnitt durch die Erfindung in dem nicht-erregten bzw. nicht-stromführenden Zustand zeigt;

Fig. 1b einen Querschnitt durch die Erfindung in dem erregten bzw. stromführenden Zustand zeigt; und

Fig. 2 die Verwendung der Erfindung in einem Laserabbildungssystem zeigt.

Unter Bezugnahme auf Fig. 1 ist ein Feld von Streifen bzw. Bändern 1 über einem Siliziumsubstrat 4 angeordnet bzw. gelagert und durch eine Schicht 3 getrennt. Die Schicht 3 kann metallisch oder nicht-metallisch sein. Der Bereich bzw. die Fläche 6 unter jedem Band ist hohl ausgebildet,

wobei ein Opferschicht-Mikro-Materialbearbeitungsverfahren verwendet wird. Eine Metallbeschichtung 2 auf der Oberseite des Bandes 1 dient sowohl als eine Elektrode als auch als eine reflektierende Schicht.

Eine zweite Elektrode 5 ist am Boden des Luftraums 6 angeordnet. Die Elektroden 2 und 5 bilden eine Kapazität bzw. Kondensator. Durch Anlegen einer Spannung 10 zwischen den zwei Elektroden wird das Band 1 aufgrund der elektrostatischen Anziehung verformt. Die Form des deformierten bzw. ausgelenkten Bandes kann durch eine zylindrische Oberfläche angenähert werden. Eine hyperbolische Cosinus-Funktion würde eine genauere Darstellung sein, wobei jedoch für eine Ablenkung bzw. Auslenkung, welche viel geringer ist als die Länge des Bandes, der Unterschied zwischen diesen Gleichungen nicht wesentlich bzw. signifikant ist. Ein Lichtstrahl 7 wird durch die Beschichtung 2 reflektiert. Wenn die Vorrichtung nicht erregt bzw. nicht stromführend ist, wird das meiste des reflektierten Lichts durch eine Blockiereinrichtung bzw. Blende 8 blockiert. Der schmale Schlitz 9 in der Blockiereinrichtung bzw. Blende 8 erlaubt, daß nur eine geringe Lichtmenge durchtritt. Wenn die Vorrichtung erregt bzw. stromführend ist, wie dies in Fig. 1b gezeigt ist, bewirkt die zylindrische Form des Streifens bzw. Bandes, daß der reflektierte Strahl auf einen Brennpunkt bei dem Schlitz 9 fokussiert wird und daß das meiste Licht hindurchtreten kann. Es ist offensichtlich, daß für den Fall, daß die Position des Schlitzes 9 und der Blende 8 vertauscht werden, die Vorrichtung ebenso verwendet werden kann. In diesem Fall wird das meiste Licht an der Blockiereinrichtung in dem nicht-erregten Zustand vorbeitreten. Diese zwei Betriebsarten werden manchmal als "Hellfeld" bzw. "Dunkelfeld" bezeichnet. Der Ausdruck "Licht" sollte so verstanden werden, daß er jede Form von Photonenstrahlung, unabhängig davon, ob sichtbar oder nicht, umfaßt.

Der wesentliche Vorteil dieses Verfahrens ist, daß sehr geringe Ablenkungen bzw. Auslenkungen, typischerweise unter einem Mikrometer, für einen wirkungsvollen Betrieb ausreichend sind. Eine Vergrößerung bzw. Verbreiterung des Schlitzes 9 ergibt eine größere Lichttransmission in diesem "EIN"-Zustand, wobei jedoch der Kontrast in dem "AUS"-Zustand aufgrund eines erhöhten Lichtleckens bzw. Lichtdurchtritts verringert wird. Ein guter Wert ist es, den Schlitz 9 vergleichbar mit dem Diffraktions- bzw. Beugungslimit des zylindrischen Spiegels zu machen.

Der Zusammenhang zwischen der Durchbiegung, der Brennweite und dem Kontrast ist leicht abzuleiten. Für eine Band- bzw. Streifenlänge von "I" und einer Durchbiegung (in erregtem Zustand) von "h" ist der Krümmungsradius ungefähr $I^2/8h$ und die Äquivalentbrennweite ist $I^2/16h$. Für eine Schlitzbreite, welche ungefähr der Beugungsgrenze des Spiegels entspricht (etwa ungefähr gleich $f/\#$ der optischen Eigenschaften, ausgedrückt in Mikrometer, für sichtbares Licht und nahes Infrarot), ist der Kontrast gleich dem Verhältnis zwischen der Strahlbreite (welche dieselbe wie die Band- bzw. Streifenlänge ist) und der Schlitzbreite. Daher ergibt sich $f/\# \approx I : I^2/16h = 16h/I$, wobei dies ebenfalls gleich der Schlitzbreite in Mikrometer ist. Der Kontrast ist $16h/I : I = 16h$, worin "h" die Durchbiegung in Mikrometer ist. Dieses Resultat ist unabhängig von der Bandlänge I. Die Bandlänge beeinflusst jedoch die Ansprechzeit und die erforderliche Antriebsspannung. Für einen Kontrastbereich von 10 : 1 (ausreichend für Thermografie-Anwendungen) ist $h \approx 0,6 \mu\text{m}$, unabhängig von der Bandlänge. Bei diesem Kontrastverhältnis beträgt die optische Effizienz bzw. Ausbeute mehr als 75%. Ein höherer Kontrast kann erhalten werden, wenn eine geringere Ausbeute toleriert werden kann.

Die exakten Details der Herstellung sind in den US-Patenten 5.311.360 und 5.661.592 geoffenbart. Sie sind ident

mit den zur Herstellung von Gitter-Lichtventilen verwendeten Schritten und müssen hier nicht detailliert werden. Mit einer Bandlänge von $I = 500 \mu\text{m}$ und $h = 0,6 \mu\text{m}$ kann eine Vorrichtung, welche in weniger als einer Mikrosekunde mit einer Spannung von unter 50 V schaltet, hergestellt werden. Diese erlaubt nicht nur, daß das Lichtventil, sondern auch elektronische Antriebe auf demselben Substrat ausgebildet bzw. hergestellt werden. Die Vorteile einer Verwendung von Siliziumnitrid anstelle von Silizium oder Aluminium für das Bandmaterial sind eine schnellere Ansprechzeit (aufgrund einer höheren Resonanzfrequenz), die Möglichkeit bzw. Fähigkeit der Handhabung einer größeren Leistung (aufgrund eines geringeren thermischen Expansionskoeffizienten und eines sehr hohen Temperaturwiderstandes) und eine längere Lebens- und Einsatzzeit, da Siliziumnitrid weniger anfällig für Ermüdungserscheinungen ist als Aluminium.

Die Erfindung ist insbesondere auf zwei Gebieten nützlich bzw. einsetzbar: Laserrabbildungen, insbesondere mit Hochleistungslasern im nahen Infrarot, und die Projektion von Darstellungen. Beispielhaft ist ein System, welches die Erfindung für eine Laserabbildung verwendet, in Fig. 2 detailliert dargestellt. Ein lineares Feld von Bändern bzw. Streifen 1 ist monolithisch auf einem Siliziumsubstrat 4 hergestellt. Jeder erregte bzw. stromdurchflossene Streifen nimmt die Form eines zylindrischen Spiegels an. Ein Laser 11 erzeugt eine Linienbeleuchtung bzw. -ausleuchtung 7 unter Verwendung eines anamorphotischen Strahlenaufweiters, welcher aus zylindrischen Linsen 12 und 13 gebildet ist. Es ist selbstverständlich, daß verschiedene andere Methoden verwendet werden können, um die lineare bzw. Linienbeleuchtung zu erzeugen. Ein besonders nützlich Verfahren zur Beleuchtung ist im US-Patent 5.517.359 geoffenbart. Der Schlitz 9 in der Blende 8 erlaubt, daß Licht von den erregten Bändern hindurchtritt, während er das meiste Licht von den nicht-erregten Bändern blockiert. Eine Linse 14 bildet ein Bild der Bänder 1 auf dem lichtempfindlichen Material 15 ab, welches auf einer Trommel 16 angeordnet bzw. festgelegt ist. Nur die erregten bzw. stromdurchflossenen Bänder erzeugen eine Markierung 17, da das von den nicht-erregten Bändern reflektierte Licht durch die Blende 8 blockiert wird. Alle anderen Details eines derartigen Abbildungssystems, wie beispielsweise die Erzeugung einer zweidimensionalen Abtast- und Datensynchronisation, sind im Stand der Technik betreffend eine Bildaufzeichnung gut bekannt.

Patentansprüche

1. Hochgeschwindigkeits-Lichtventil bzw. -Lichtsteuergerät mit deformierbarem Spiegel, umfassend eine Vielzahl von adressierbaren Spiegeln, wobei jeder der Spiegel in Form eines Bandes bzw. Streifens (1) vorliegt, welches(r) an beiden Enden abgestützt bzw. getragen ist und durch Anwenden eines elektrischen Signals in eine ungefähr zylindrische Form deformierbar ist, wobei das zylindrisch deformierte Band (1) als ein zylindrischer Spiegel wirkt, welcher das einfallende Licht in einer Richtung bzw. Dimension fokussiert.
2. Lichtventil nach Anspruch 1, weiterhin umfassend Mittel zur Umwandlung dieser Fokussierungs- bzw. Brennpunktänderung in eine Lichtintensitätsänderung.
3. Lichtventil nach Anspruch 2, worin die Mittel zur Umwandlung der Fokussierungs- bzw. Brennpunktänderung in die Lichtintensitätsänderung eine Öffnung bzw. ein Schlitz (9) sind.
4. Lichtventil nach Anspruch 2 oder 3, worin die Mittel zur Umwandlung der Fokussierungs- bzw. Brennpunktänderung in die Lichtintensitätsänderung eine li-

neare Blende bzw. ein linearer Schlitz (9) sind.

5. Lichtventil nach einem der vorangehenden Ansprüche 2 bis 4, worin die Mittel zur Umwandlung der Fokussierungs- bzw. Brennpunktänderung in die Lichtintensitätsänderung eine lineare, opake bzw. lichtundurchlässige Kante sind. 5

6. Lichtventil nach einem der vorangehenden Ansprüche, worin jedes Band (1) aus einem nicht-metallischen Material gebildet ist und eine metallische Beschichtung (2) für eine erhöhte Reflektivität aufweist. 10

7. Lichtventil nach einem der vorangehenden Ansprüche, worin jedes Band (1) aus Siliziumnitrit hergestellt ist und das zur Herstellung des Lichtventils verwendete Herstellungsverfahren ähnlich zu dem Verfahren ist, welches zur Herstellung von monolithischen, integrierten Schaltungen auf einem Silizium-Wafer verwendet wird. 15

8. Lichtventil nach einem der vorangehenden Ansprüche, worin das Band (1) in eine zylindrische Form durch eine durch das elektrische Signal erzeugte, elektrostatische Kraft deformiert wird. 20

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

25

30

35

40

45

50

55

60

65

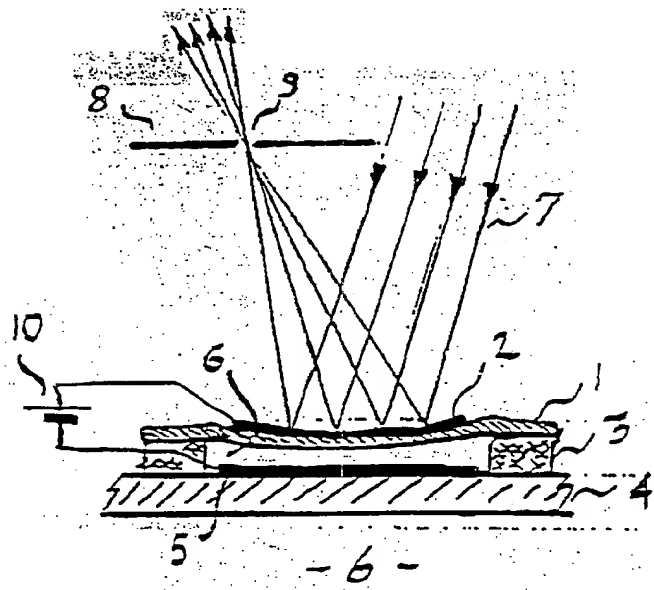
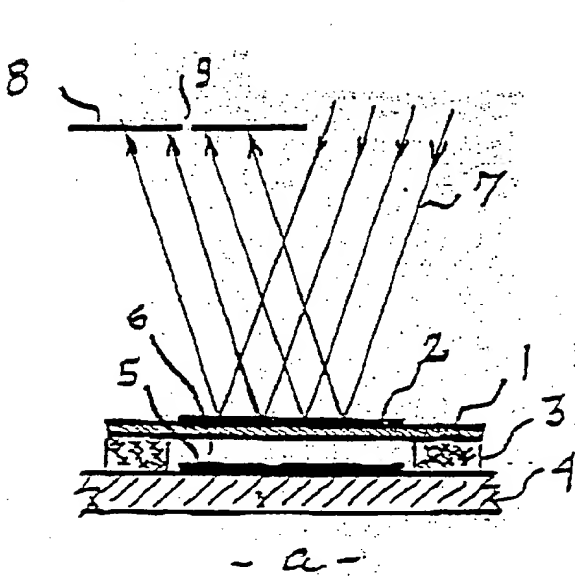


Fig 1

